

## ТРАКТОРОБУДУВАННЯ

УДК 621.83.062.1

**В. Б. САМОРОДОВ**, д-р техн. наук, проф. НТУ «ХПІ»;  
**А. І. БОНДАРЕНКО**, канд. техн. наук, доц. НТУ «ХПІ»

### РОЗПОДІЛ ПОТОКІВ ПОТУЖНОСТІ У ГІДРООБ'ЄМНО-МЕХАНІЧНИХ ТРАНСМІСІЯХ, ЩО ПРАЦЮЮТЬ ЗА СХЕМОЮ «ДИФЕРЕНЦІАЛ НА ВХОДІ»

У роботі наведені схеми гідрооб'ємно-механічних трансмісій, що працюють за схемою “диференціал на вході” зі всіма можливими з'єднаннями механічної та гідравлічної гілки з ланками триланкового планетарного механізму. Визначені напрями потоків потужності в замкнутому контурі даних двопотокових трансмісій.

**Ключові слова:** трактор, безступінчаста трансмісія, гідроагрегати, швидкісний діапазон.

#### Вступ

В процесі створення нових гідрооб'ємно-механічних трансмісій (ГОМТ) суттєва увага приділяється закономірностям розподілу кінематичних, силових та енергетичних параметрів трансмісій, значення яких суттєво залежить від напрямку потоків потужності та їх циркуляції в замкнутому контурі двопотокової трансмісії.

#### Аналіз останніх досягнень і публікацій

Вперше серійне виробництво сільськогосподарських тракторів з двопотоковою ГОМТ почала фірма Fendt в 1996 р. [1]. Всі трактори, що випускаються фірмою Fendt (потужність 51 – 287 кВт) на теперішній час оснащені однією з найбільш оригінальних і ефективних безступінчастих ГОМТ – Fendt Vario. Конструкція трансмісії виконана по схемі з диференціалом на вході. Характерна особливість ГОМТ Fendt Vario – використання двох діапазонів швидкостей: робочого та транспортного, а також в деяких трансмісіях двох гідромоторів, що регулюються.

Схема “диференціал на вході” знайшла також застосування в ГОМТ зі змінною структурою [2 – 3]. Така структура означає, що в кожному піддіапазоні, на які розбивається весь швидкісний діапазон ГОМТ, може використовуватися одна з наступних схем: з диференціалом на вході; з диференціалом на виході; з диференціалом на вході та виході.

Не зважаючи на чисельні праці як іноземних так і вітчизняних вчених в області розробки об'ємних гідромашин та гідрооб'ємних передач (ГОП), створення і дослідження ГОМТ для колісних та гусеничних тракторів [4 – 7], вантажних автомобілів [7 – 8], комбайнів, дорожньо-будівельних машин [8 – 9], шахтних дизелевозів [10] на даний момент залишається до кінця не вивченим питання розподілу потоків потужності в замкнутому контурі двопотокових ГОМТ, що працюють за схемою “диференціал на вході”.

#### Мета і постановка завдання

Метою даної роботи є дослідження розподілу потоків потужності в замкнутому контурі двопотокових ГОМТ, що працюють за схемою “диференціал на вході”:

– аналіз кінематичних схем ГОМТ з різним з'єднанням механічної та гідравлічної гілки з ланками триланкового планетарного механізму (з сонячною шестернею, коронною шестернею, водилом);

– визначення кінематичних, силових та енергетичних параметрів ГОМТ з циркуляцією потужності в замкнутому контурі задля різних робочих об'ємів гідромоторів та аналіз отриманих результатів.

**Розподіл потоків потужності у ГОМТ, що працюють за схемою “диференціал на вході”.**

В процесі дослідження основних параметрів ГОМТ, що працюють за схемою “диференціал на вході” [2 – 3] з різним з'єднанням механічної та гідравлічної гілки з ланками планетарного механізму (з сонячною шестернею, коронною шестернею, водилом) (рис. 1) було встановлено, що у розглянутих ГОМТ з диференціалом на вході при русі переднім ходом зі швидкістю до 10 км/год в замкнутому контурі трансмісії циркуляція потужності відсутня – потужність передається по паралельних гілках двопотокової трансмісії (рис. 2), що повністю відповідає лемі, яка була введена в роботі [11], для схем № 1 – № 4, № 6 і не відповідає для схеми № 5 (при  $\text{sign}\left(e \cdot \frac{de}{dV} \cdot V^*\right) > 0$  циркуляція потужності відсутня;  $e$  – відносний параметр регулювання ГОП: для схем № 1 – № 4  $e < 0$ , № 5, 6 –  $e > 0$ ;  $V$  – швидкість руху трактора;  $V^* = V/(i_3 \cdot i_4)$  – для схем № 1 – № 4, № 6;  $V^* = V/(-i_3)$  – для схеми № 5).

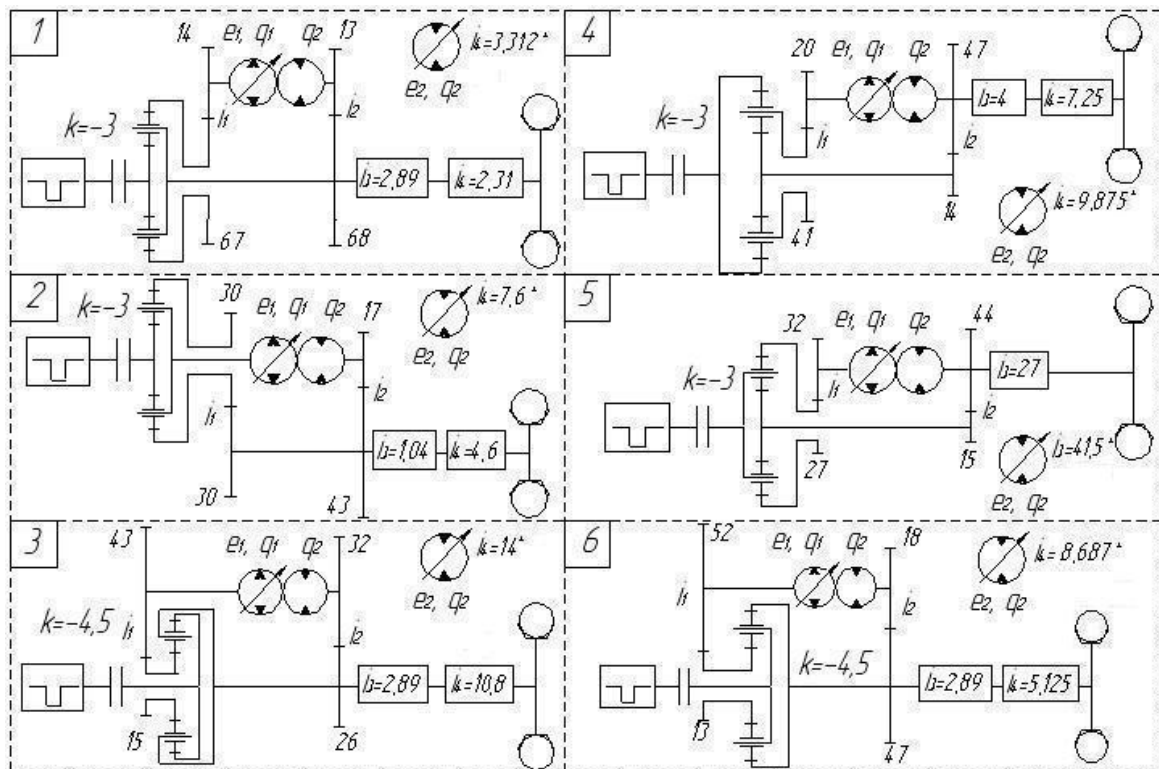


Рисунок 1 – Спрощені кінематичні схеми ГОМТ з диференціалом на вході при різних з'єднаннях механічної та гідравлічної гілки з ланками планетарного механізму

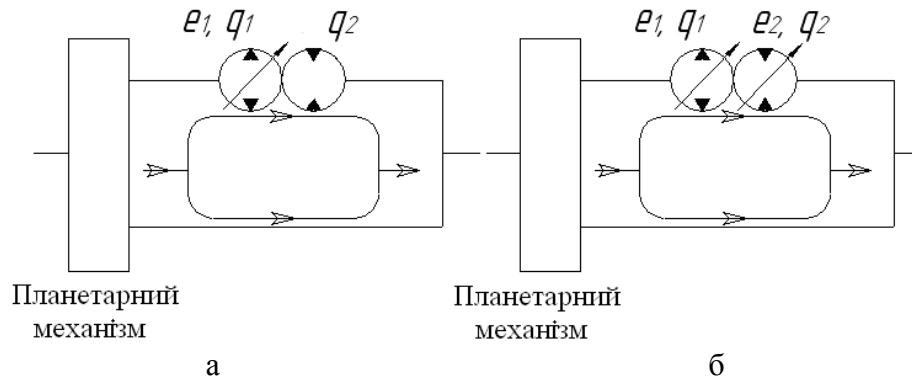


Рисунок 2 – Розподіли потоків потужності в замкнутих контурах ГОМТ (рис. 1):  
а – ГОМТ з нерегульованим гідромотором; б – ГОМТ з регульованим гідромотором.

При визначенні кінематичних, силових та енергетичних параметрів двопотокової ГОМТ трактора Fendt 939 Varіо було встановлено: при русі переднім ходом в замкнутому контурі трансмісії циркуляція потужності відсутня – потужність передається по паралельних гілках двопотокової трансмісії; при русі заднім ходом в замкнутому контурі з'являється циркуляція потужності, що приводить до перевантаження гідравлічної гілки (рис. 3) [3]. Циркуляція потужності відсутня при виконанні умови  $\text{sign}\left(e \cdot \frac{de}{dV} \cdot V^*\right) > 0$  – не працює для випадку руху переднім ходом.

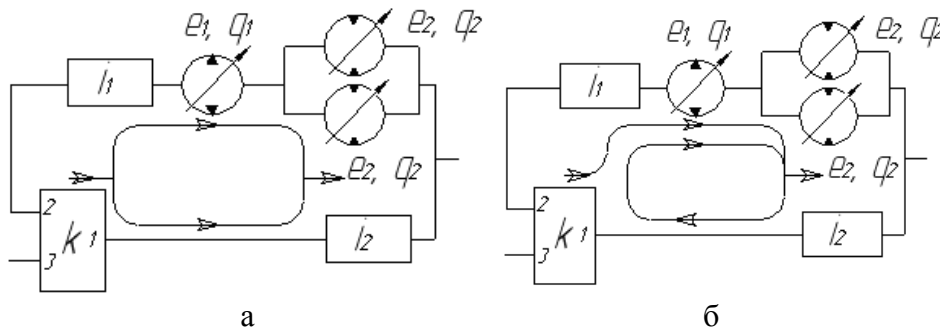
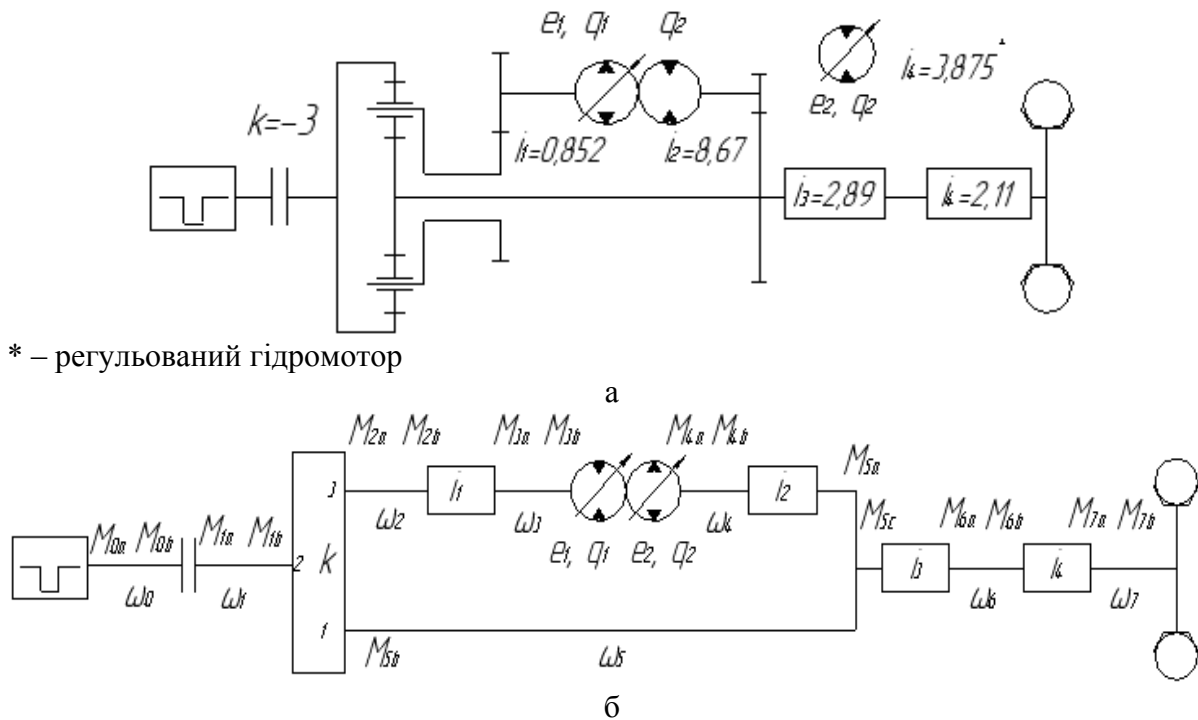


Рисунок 3 – Розподіли потоків потужності в замкнутому контурі трансмісії трактора Fendt 939 Varіо: а – рух переднім ходом; б – рух заднім ходом.

Слід звернути увагу, що в процесі вибору кінематичних схем для дослідження основних параметрів ГОМТ, що працюють за схемою “диференціал на вході”, було виявлено випадок циркуляції потужності в замкнутому контурі, де умова, що циркуляція потужності відсутня при виконанні  $\text{sign}\left(e \cdot \frac{de}{dV} \cdot V^*\right) > 0$  – не виконується.

Розглянемо детальніше цю схему (рис. 4).

В якості початкових даних для аналізу вибрані наступні параметри: максимальні оберти колінчастого валу двигуна 2250 об/хв; радіус коліс  $r = 0,85$  м; маса трактора 9000 кг; швидкість, що реалізується на тяговому діапазоні при коефіцієнті опору руху 0,5 – від 0 до 10 км/год; робочий об'єм гідронасоса та гідромотора – по  $130 \text{ см}^3$ ; робочий об'єм гідронасоса –  $130 \text{ см}^3$ ; гідромотора –  $250 \text{ см}^3$  (для нерегульованого гідромотора  $i_4 = 1,138$ , для регульованого гідромотора  $i_4 = 2,188$ ).



\* – регульований гідромотор

Рисунок 4 – Схеми ГОМТ з диференціалом на вході з циркуляцією потужності в замкнутому контурі: а – спрощена кінематична; б – структурна

Результати статичного аналізу ГОМТ (рис. 4) з нерегульованим гідромотором наведені на рис. 5 – 6, з регульованим гідромотором – на рис. 7 – 8 (позначення на рис. 5 – 8:  $\eta_o$  – загальний об'ємний коефіцієнт корисної дії (ККД) ГОП;  $\eta$  – загальний ККД ГОП;  $\eta_{TP}$  – ККД трансмісії;  $N_d$  – потужність двигуна, кВт;  $N_2$  – потужність, що виходить з ГОП, кВт;  $e_1, e_2$  – відносний параметр регулювання ГОП;  $\Delta p$  – перепад робочого тиску в ГОП;  $N_{gid}$  – відношення потужностей у відсотках, що передаються через гідравлічну гілку до вихідної потужності із замкнутого контуру).

Слід звернути увагу на розподіли потоків потужності в ГОМТ з диференціалом на вході (рис. 4). Значення і напрями потоків потужності, що передається ланками двопотокової трансмісії, визначаються тільки круговим передавальним відношенням замкнутого контуру [12]:

$$i_{xkbx} = -\frac{N_{2a}}{N_{5b}} = -\frac{M_{2a} \cdot \omega_2}{M_{5b} \cdot \omega_5}.$$

де  $N_{nm}$  – потужність, що передається ланками ГОМТ (добуток кутових швидкостей на відповідні моменти з урахуванням знаку дають величину і напрям потоків потужності на конкретних ланках і елементах ГОМТ);

$m$  – індекс-число співпадає з номером кутової швидкості ланки;

$n$  – індекси-букви відповідають моментам на кінцях ланок;

$M_{nm}$  – моменти на ланках ГОМТ;

$\omega_i$  – кутова швидкість ланки.

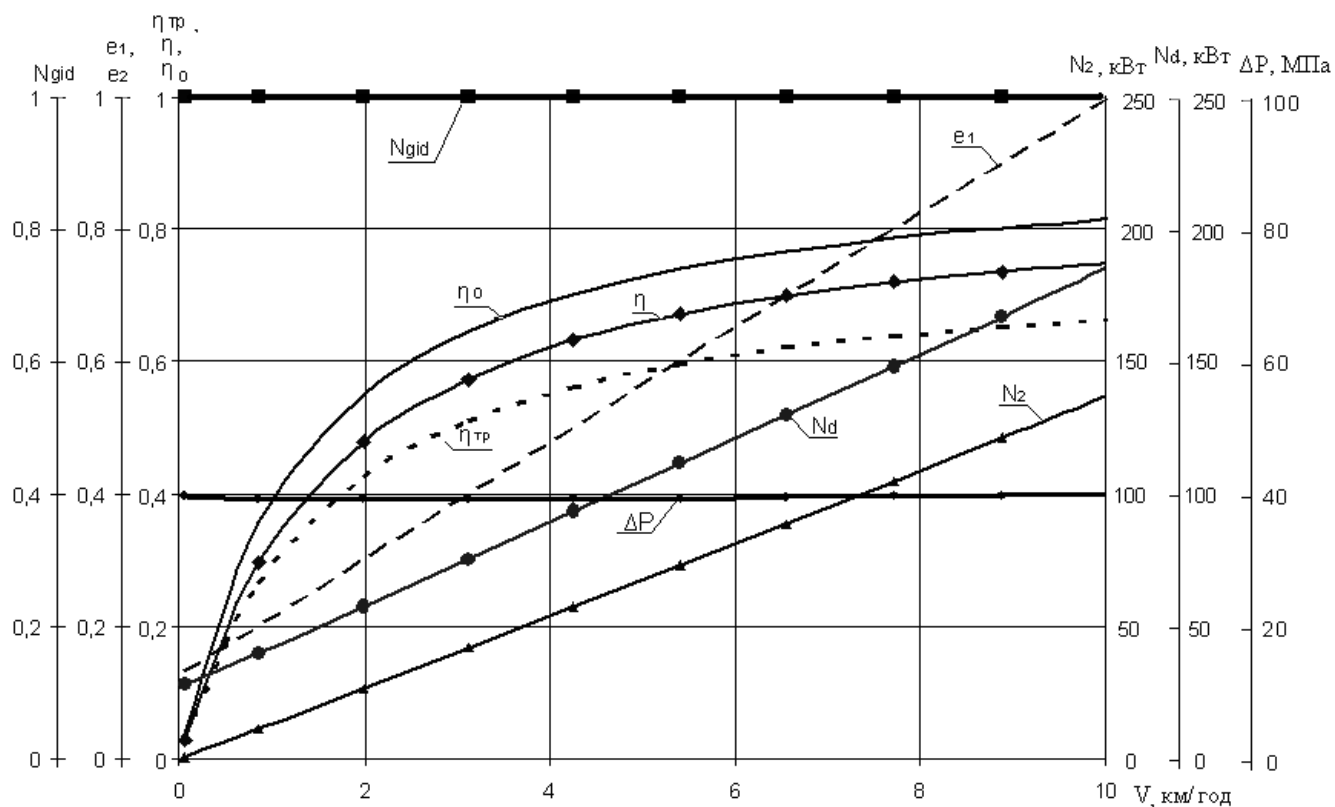


Рисунок 5 – Результати статичного аналізу ГОМТ (рис. 4) з нерегульованим гідромотором робочим об'ємом 130 см³

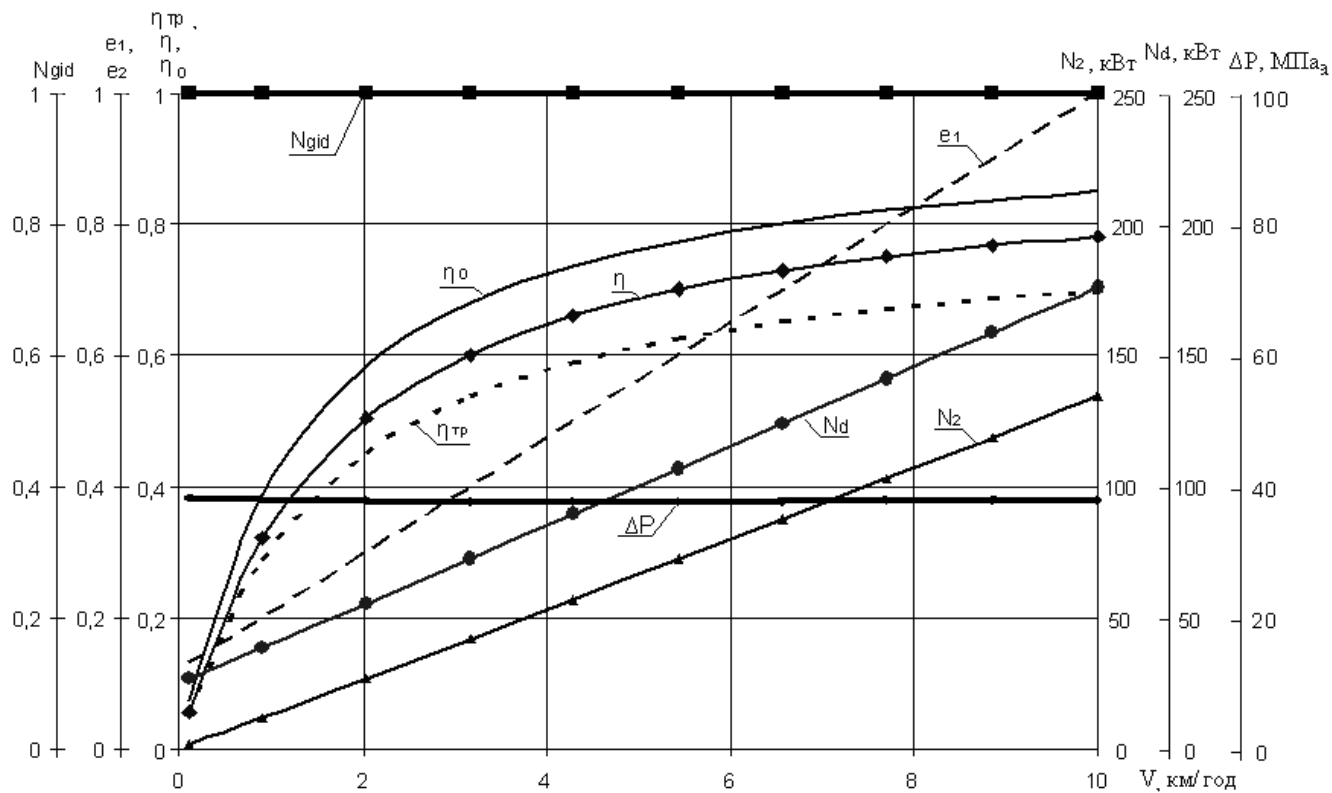


Рисунок 6 – Результати статичного аналізу ГОМТ (рис. 4) з нерегульованим гідромотором робочим об'ємом 250 см³

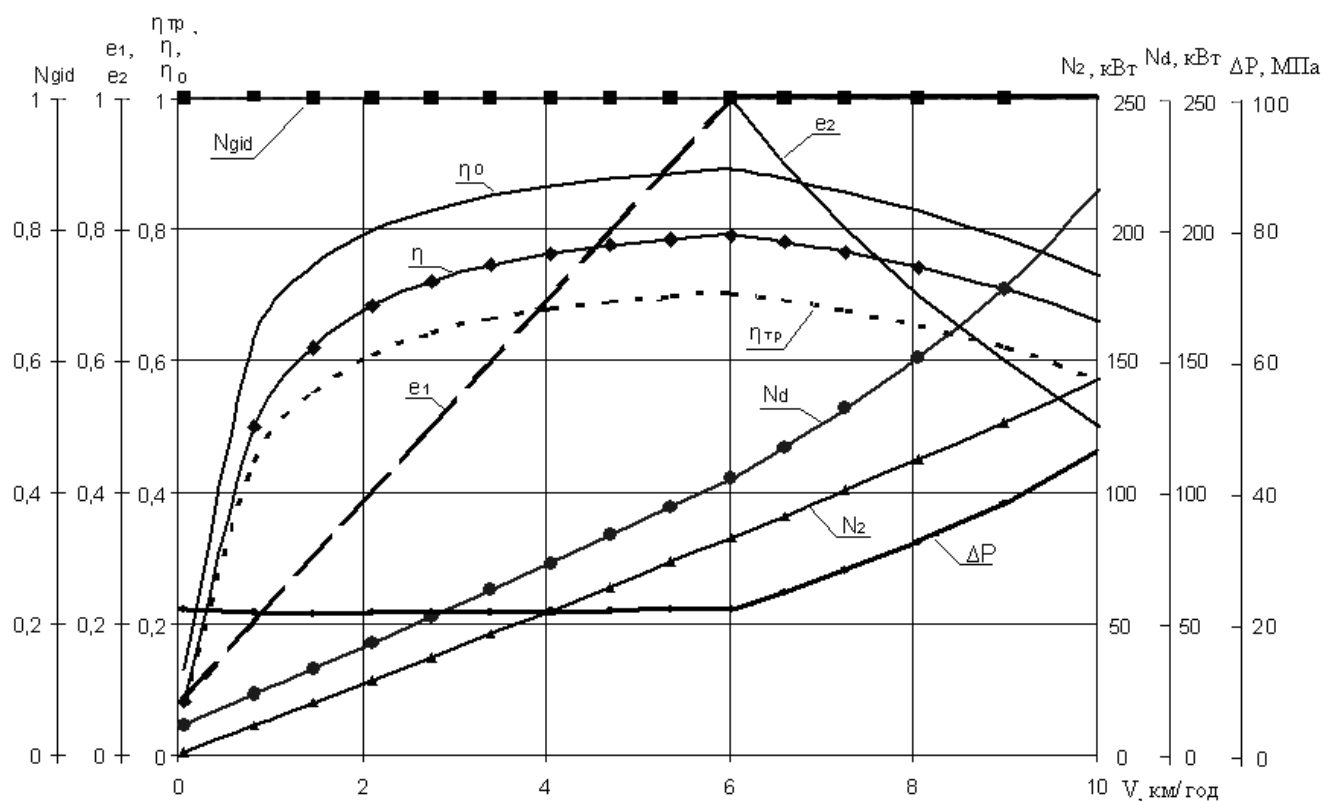


Рисунок 7 – Результати статичного аналізу ГОМТ (рис. 4) з регульованим гідромотором робочим об'ємом 130 см³

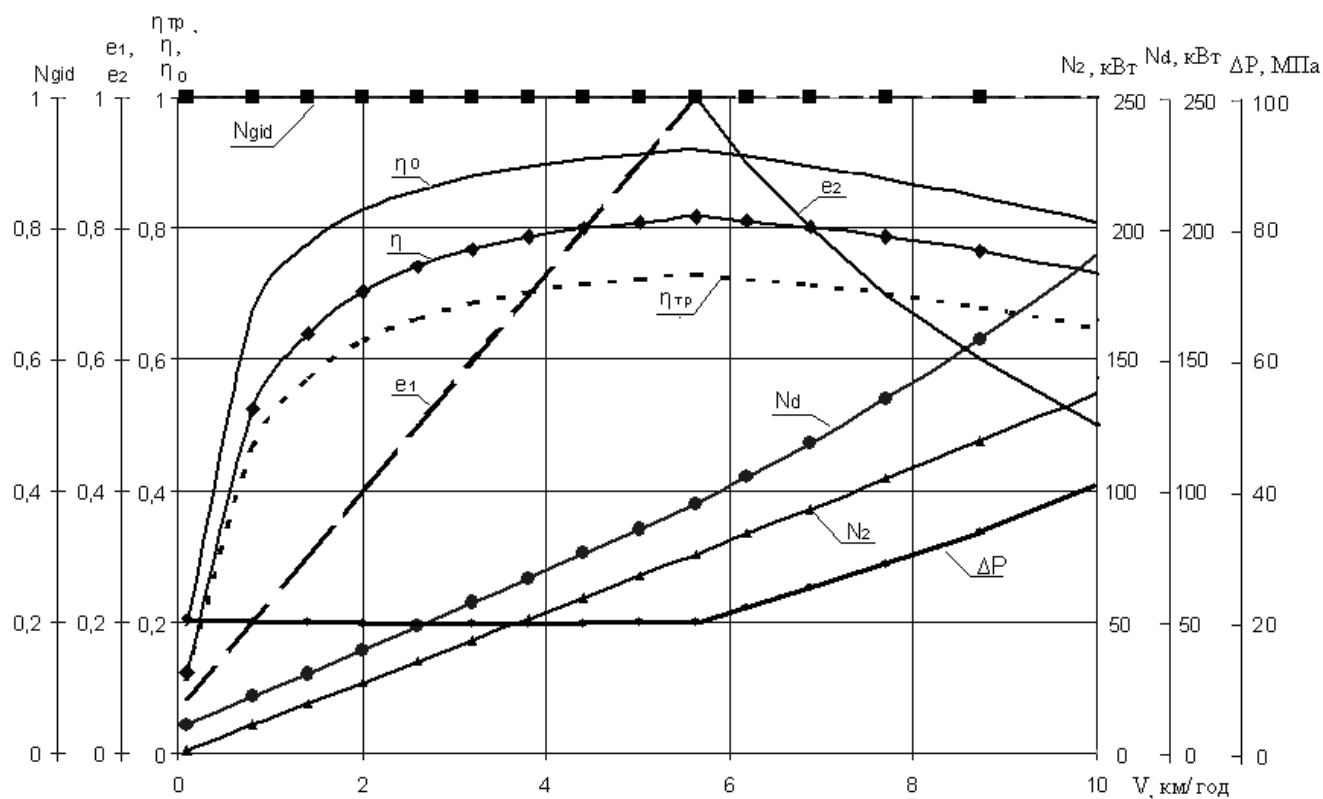


Рисунок 8 – Результати статичного аналізу ГОМТ (рис. 4) з регульованим гідромотором робочим об'ємом 250 см³

При  $-\infty < i_{xkby} < 0$  напрями потоків потужності по паралельних гілках двопотокової трансмісії однакові, а при  $0 < i_{xkby} < \infty$  потужність по гілках двопотокової трансмісії передається в протилежних напрямках, тобто в замкнутому контурі виникає циркуляція потужності (рис. 9).

Зміна ККД трансмісії, перепаду робочого тиску в ГОП; кругового передавального відношення замкнутого контуру від швидкості руху трактора та робочого об'єму гідромотора ГОМТ (рис. 4) наведені на рис. 10 – 15.

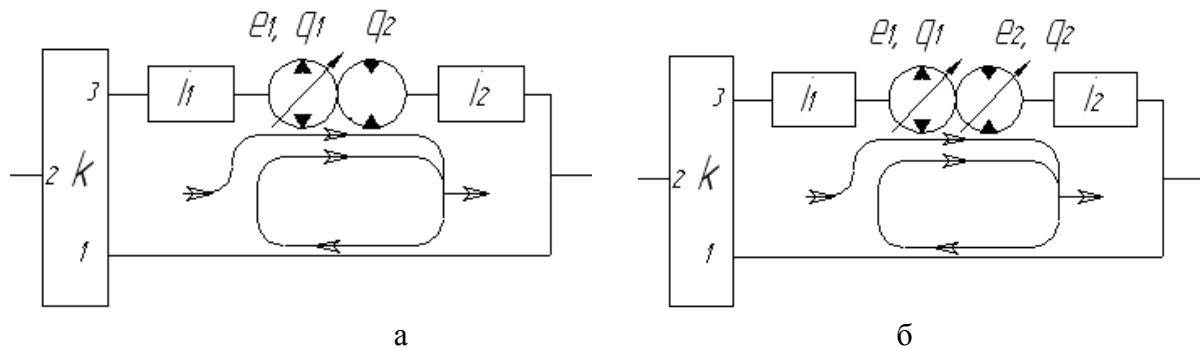


Рисунок 9 – Розподіли потоків потужності в замкнутому контурі ГОМТ (рис. 4):  
а – ГОМТ з нерегульованим гідромотором; б – ГОМТ з регульованим гідромотором.

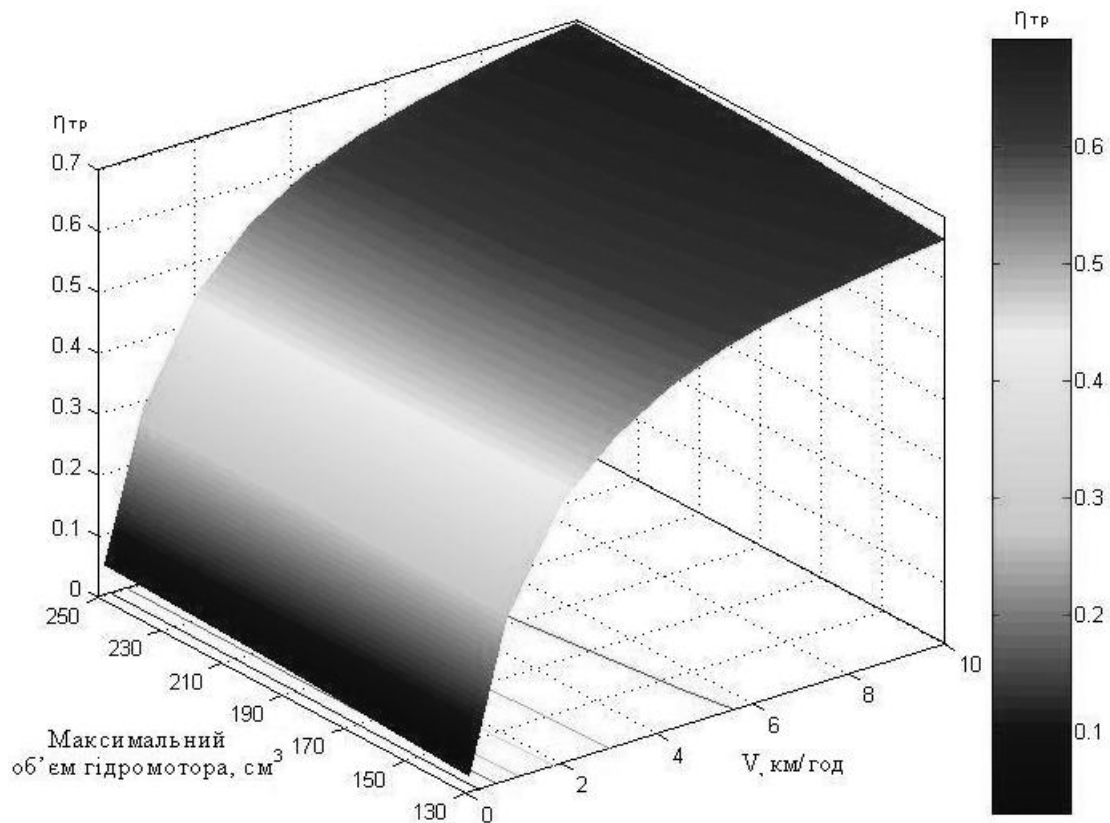


Рисунок 10 – Зміна ККД трансмісії ГОМТ (рис. 4) з нерегульованим гідромотором

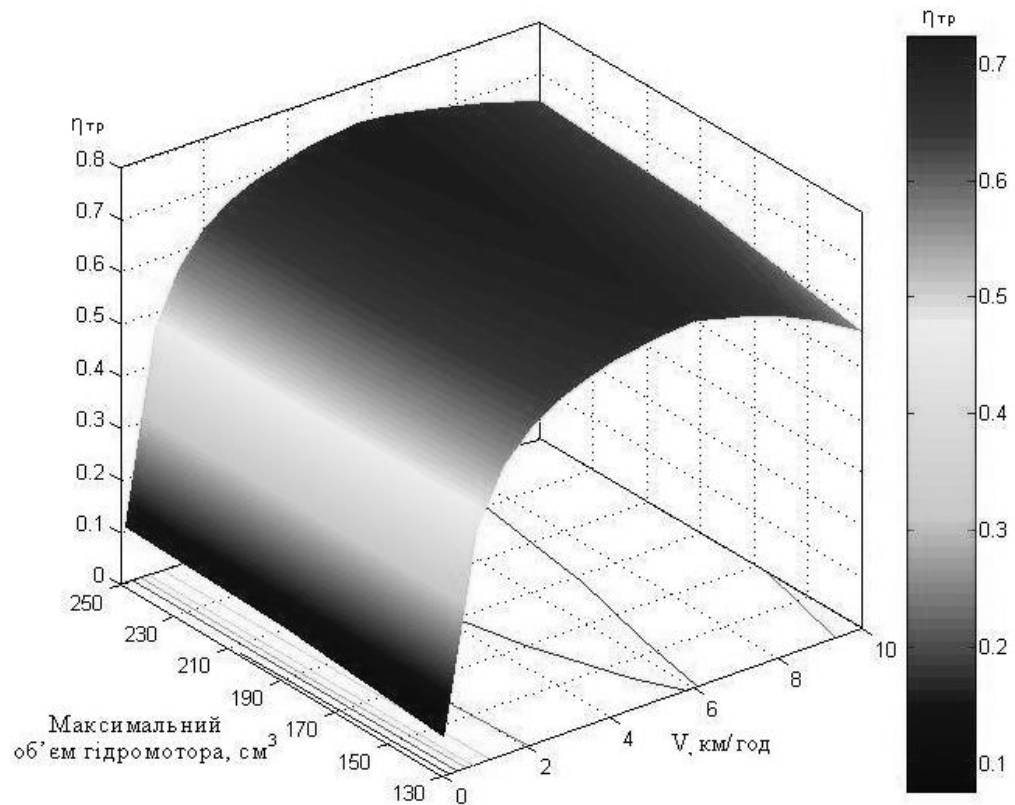


Рисунок 11 – Зміна ККД трансмісії ГОМТ (рис. 4) з регульованим гідромотором

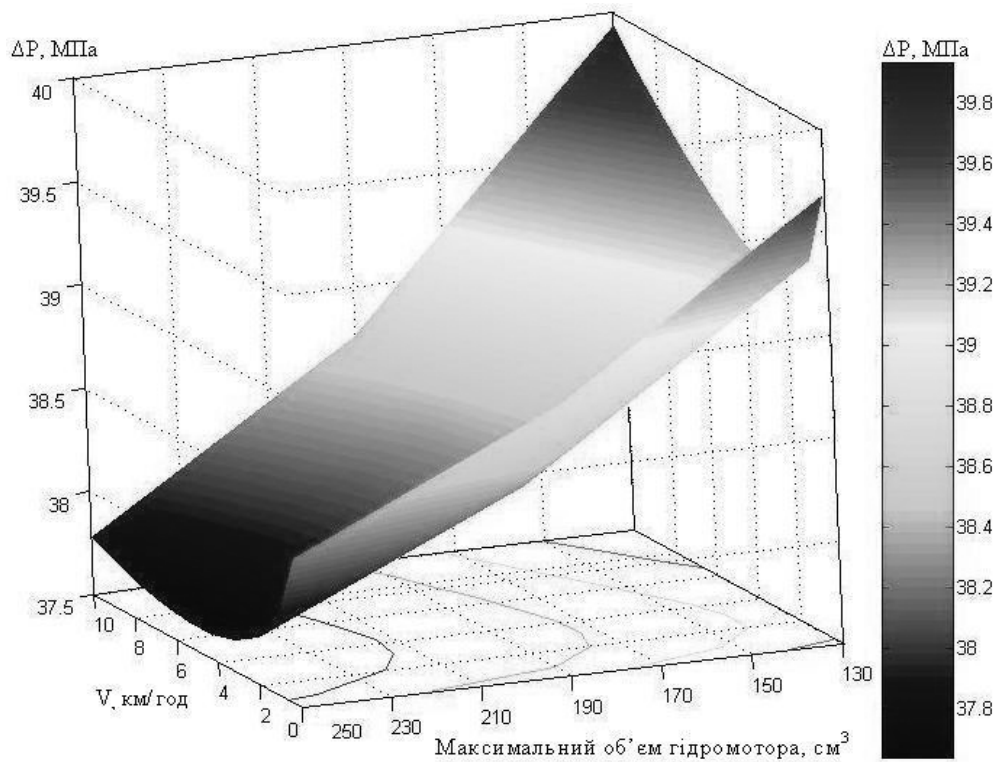


Рисунок 12 – Зміна перепаду робочого тиску в ГОП ГОМТ (рис. 4) з нерегульованим гідромотором



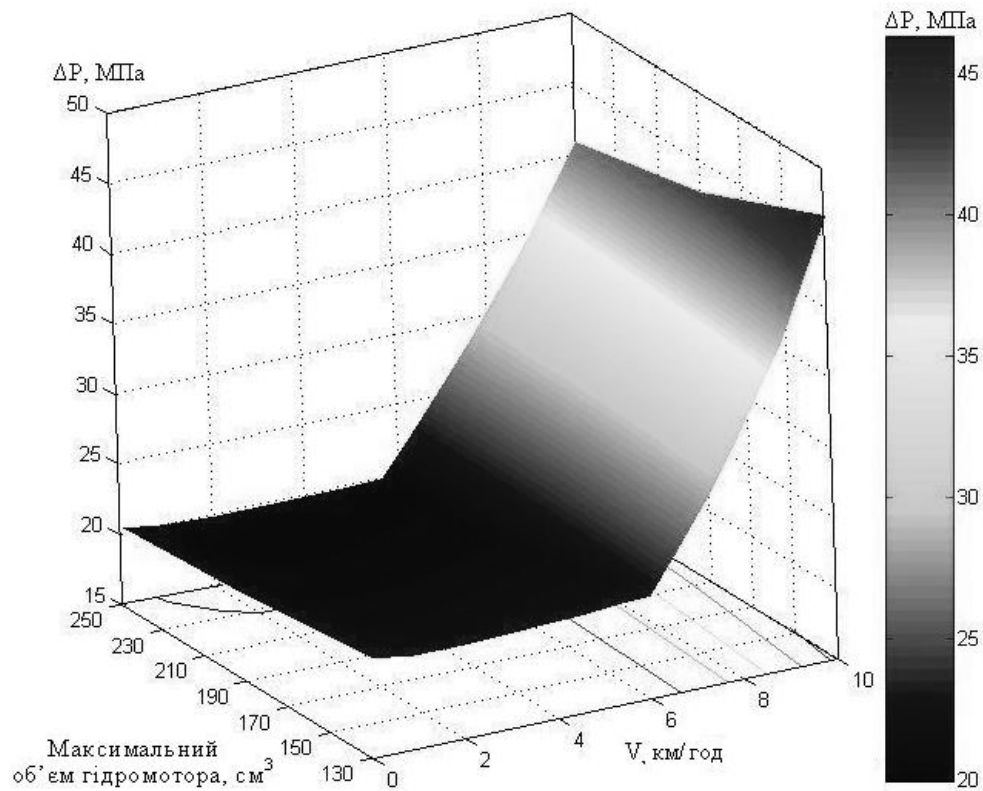


Рисунок 13 – Зміна перепаду робочого тиску в ГОП ГОМТ (рис. 4) з регульованим гідромотором

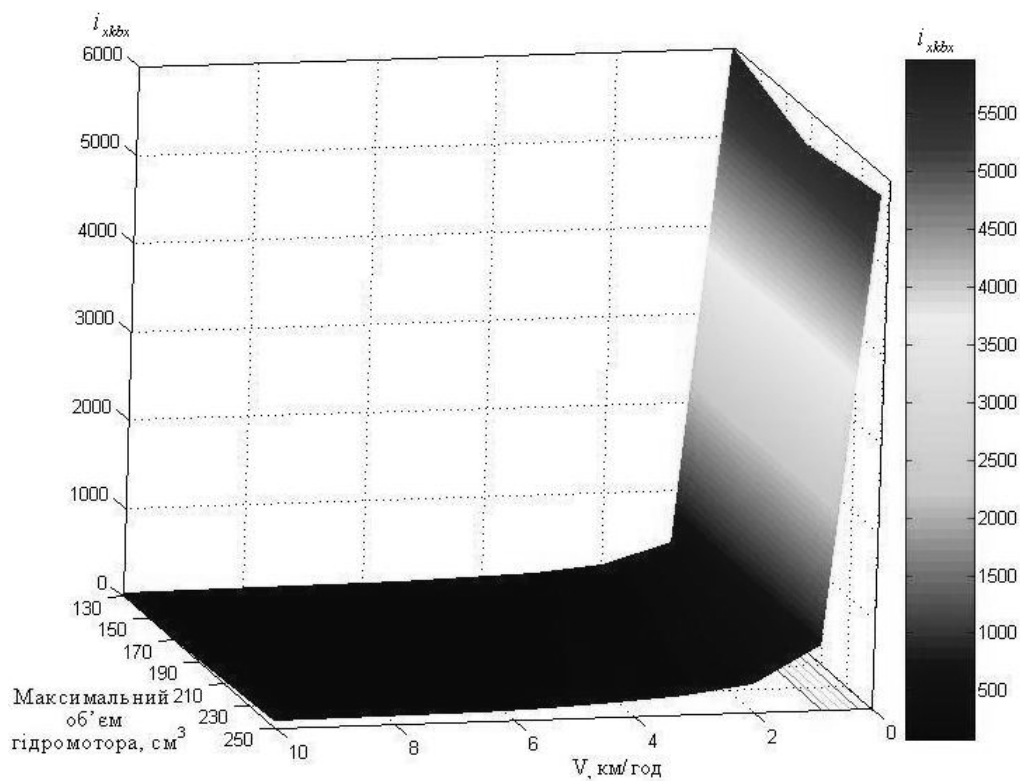


Рисунок 14 – Зміна кругового передавального відношення замкнутого контуру ГОМТ (рис. 4) з регульованим гідромотором

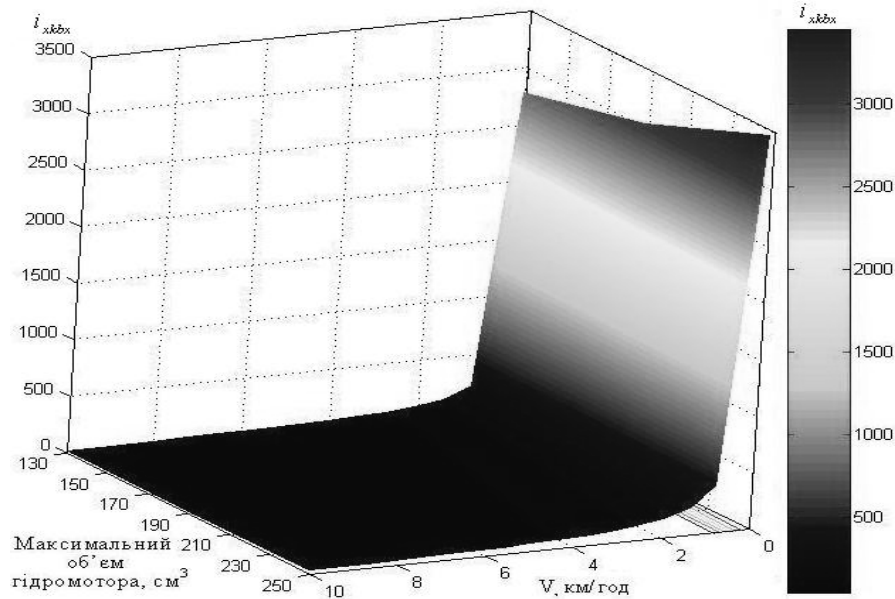


Рисунок 15 – Зміна кругового передавального відношення замкнутого контуру ГОМТ (рис. 4) з регульованим гідромотором

### Висновки

В результаті аналізу кінематичних схем ГОМТ з різним з'єднанням механічної та гідравлічної гілки з ланками планетарного механізму (з сонячною шестернею, коронною шестернею, водилом), а також ГОМТ трактора Fendt 939 Vario було встановлено: суттєвим чинником що впливає на напрями потоків потужності по паралельних гілках двопотокових ГОМТ, які працюють за схемою “диференціал на вході”, є кінематична схема трансмісії та напрям руху трактора.

В процесі визначення кінематичних, силових та енергетичних параметрів ГОМТ (рис. 4) було встановлено, що зі збільшенням максимального об'єму гідромотора від 130 см³ до 250 см³:

- максимальне ККД трансмісії при нерегульованому гідромоторі збільшується з 0,66 до 0,70; регульованому гідромоторі – з 0,70 до 0,73;
- максимальний перепад робочого тиску в ГОП ГОМТ при нерегульованому гідромоторі зменшується з 39,95 МПа до 38,22 МПа; регульованому гідромоторі – з 46,46 МПа до 40,87 МПа;
- максимальна потужність двигуна при нерегульованому гідромоторі зменшується з 186,2 кВт до 176,2 кВт; регульованому гідромоторі – з 215,9 кВт до 190,4 кВт;
- максимальне значення потужності, що циркулює при нерегульованому гідромоторі зменшується з 5,28 кВт до 2,68 кВт; регульованому гідромоторі – з 11,21 кВт до 5,58 кВт.

**Список літератури:** 1. Самородов В.Б. Результаты математического моделирования трансмиссии Fendt Vario колесных тракторов 900 серии / В.Б. Самородов, А.И. Бондаренко // Вестник НТУ “ХПИ”: сб. науч. трудов. Тематический выпуск “Автомобиле- и тракторостроение”. – 2011. – № 56. – С. 144 – 156. 2. Самородов В.Б. Основные параметры гидрообъемно-механических трансмиссий, работающих по схеме “дифференциал на входе” / В.Б. Самородов, А.И. Бондаренко // Восточно-Европейский

журнал передовых технологий. – 2012. – № 2/7 (56).– С. 25 – 35. **3. Самородов В.Б.** Аналіз безступінчастих двопотокових гідрооб'ємно-механічних тракторних трансмісій: вибір і обґрунтування перспективних схем / *В.Б. Самородов, О.В. Григоров, А.І. Бондаренко* // Вісник національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”: зб. наук. праць. Тематичний випуск: Транспортне машинобудування. – 2012. – № 20. – С. 24 – 46. **4. Колесные и гусеничные машины высокой проходимости: в 10 томах. Том 3: Трансмиссии. Книга 2: Бесступенчатые трансмиссии: расчет и основы конструирования** / *Е.Е. Александров, В.Б. Самородов, Д.О. Волонцевич, А.С. Палащенко* – Харьков: ХГПУ, 1997. – 185 с. **5. Рогов А.В.** Развитие методов расчета систем «двигатель – трансмиссия» автомобилей и тракторов: дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.22.02 “Автомобілі та трактори” / *Рогов Андрей Владимирович*. – Харків, 2006. – 168 С. **6. Самородов В.Б.** Безступінчасті гідрооб'ємно-механічні трансмісії як невід'ємний елемент сучасних тракторів // *В.Б. Самородов, В.В. Єніфанов, А.І. Бондаренко* // Вісник СевНТУ. Збірник наукових праць. Серія: Машиноприла-добудування та транспорт. – 2012. – № 135. – С. 244 – 247. **7. Петров В.Г.** Гидрообъемные трансмиссии самоходных машин / *В.Г. Петров*. – М.: Машиностроение, 1988. – 248 с. **8. Самородов В.Б.** Безступінчасті гідрооб'ємно-механічні трансмісії як невід'ємний елемент сучасних автомобілів, будівельної і спеціальної техніки // *В.Б. Самородов, В.В. Єніфанов, А.І. Бондаренко* // Вісник СевНТУ. Збірник наукових праць. Серія: Машиноприла-добудування та транспорт. – 2012. – № 134. – С. 11 – 15. **9. Айтцетмюллер Х.** Функциональные свойства и экономичность тракторной и специальной техники с трансмиссиями VDC / *Х. Айтцетмюллер* // Механика машин, механизмов и материалов. – 2009. – № 1(6). – С. 20 – 24. **10. Деркач О.І.** Створення сімейства трансмісій транспортних засобів на базі ГОМТ мотовоза МТ-1 // Тези доповідей XX міжнародної науково – практичної конференції “Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я”, 15-17 травня 2012 р., Харків. Ч.1 / Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України, НТУ “ХПІ”. – Харків: НТУ “ХПІ”, 2012. – С. 164. **11. Булыга М.Б.** Универсализация математических моделей гидрообъемных передач, работающих в составе двухпоточных бесступенчатых трансмиссий / *М.Б. Булыга* // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2008. – №5/5 (35). – С. 4 – 7. **12. Красеньков В.И.** Проектирование планетарных механизмов транспортных машин / *В.И. Красеньков, А.Д. Вашец*. – М: Машиностроение, 1986. – 272 с.

*Надійшла в редколлегию 23.11.2012*

УДК 621.83.062.1

**Розподіл потоків потужності у гідрооб'ємно-механічних трансмісіях, що працюють за схемою «диференціал на вході»** / *В. Б. Самородов, А. І. Бондаренко* // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Автомобіле-та тракторобудування, 2012. – № 60 (966). – С. 31–41. – Бібліогр.: 12 назв.

В работе приведены схемы гидрообъемно-механических трансмиссий, которые работают по схеме “дифференциал на входе” со всеми возможными соединениями механической и гидравлической ветви со звеньями трехзвенного планетарного механизма. Определены направления потоков мощности в замкнутом контуре рассматриваемых двухпоточных трансмиссий.

**Ключевые слова:** трактор, бесступенчатая трансмиссия, гидроагрегаты, скоростной диапазон.

The charts of hydrostatic-mechanical transmissions which work on a chart “differential on an entrance” with all of possible connections of mechanical and hydraulic branch with the elements of three-unit planetary mechanism are in-process resulted. Directions of streams power are certain in the reserved contour of the examined two streams transmissions.

**Key words:** tractor, continuously variable transmission, hydromachines, speed range.